

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

### **ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ І САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ З ДИСЦИПЛІНИ «ПРИКЛАДНА АЕРОЕКОЛОГІЯ»**

#### **Модуль 4 – «Технічні засоби і технології мокрої очистки газів»**

(для студентів 5 курсу заочної (9 семестр) форми навчання напрямів підготовки  
0708 – «Екологія» , 6.040106 – «Екологія, охорона навколишнього середовища  
та збалансоване природокористування»)

Харків  
ХНАМГ  
2011

Методичні вказівки до практичних занять і самостійної роботи з дисципліни «Прикладна аероекологія», модуль 4 – «Технічні засоби і технології мокрої очистки газів» (для студентів 5 курсу заочної (9 семестр) форми навчання напрямів підготовки 0708 – «Екологія» , 6.040106 – «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. Є. Бекетов., О. С. Ломакіна.– Х.: ХНАМГ, 2011 – 34 с.

Укладачі: В. Є. Бекетов,  
О. С. Ломакіна

Рецензент: д.т.н., проф. Стольберг Ф. В.

Рекомендовано кафедрою інженерної екології міст,  
протокол № 1 від 4.09.2009 р.

## ЗМІСТ

Стор.

<b>ВСТУП .....</b>	<b>4</b>
<b>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4.1 – ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ТА ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ПРОЦЕСУ МОКРОЇ ОЧИСТКИ ГАЗІВ .....</b>	<b>5</b>
Фізичні основи мокрої очистки газів: осадження пилу на краплях рідини .....	5
Енергетичний метод розрахунку мокрих пиловловлювачів .....	10
Тепло- і масообмін у мокрих пиловловлювачах .....	13
<b>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4.2 –БУДОВА, ПРИНЦИП ДІЇ ТА ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ АПАРАТІВ МОКРОЇ ОЧИСТКИ ГАЗІВ...</b>	<b>17</b>
Форсуночні скрубери .....	17
Скрубери Вентурі .....	19
Апарати відцентрової дії .....	24
Апарати ударно-інерційної дії .....	25
Барботажні пінні апарати .....	27
<b>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4.3 – ДОДАТКОВЕ ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМ ПИЛО - І ГАЗООЧИСТКИ .....</b>	<b>32</b>
Рекомендована навчальна література .....	33

## **ВСТУП**

Дисципліна «Прикладна аероекологія» згідно з навчальним планом підготовки бакалавра є вибірковою і вивчається протягом чотирьох семестрів студентами заочної форми навчання. Модуль 4 «Технічні засоби і технології мокрої очистки газів» завершує вивчення цієї дисципліни.

Під час вивчення модуля «Технічні засоби і технології мокрої очистки газів», студенти повинні отримати знання з наступних змістових модулів:

ЗМ 4.1: Фізичні основи та основи розрахунку процесу мокрої очистки газів;

ЗМ 4.2: Будова, принцип дії та основи розрахунку апаратів мокрої очистки газів;

ЗМ 4.3: Додаткове обладнання систем пило-і газоочистки.

Згідно з навчальною програмою практичні заняття передбачені за змістовими модулями ЗМ 4.1, ЗМ 4.2. Практичні заняття включають розв'язання задач за тематикою.

Самостійна робота передбачає вивчення конспекту лекцій і додаткової літератури, а також виконання розрахункових завдань за матеріалами лекційних та практичних занять за всіма змістовими модулями, а також виконання розрахунково-графічної роботи. Для контролю засвоєння матеріалу під час самостійної роботи після кожної теми наведені контрольні питання.

Методичні вказівки побудовані таким чином:

- 1) надаються теоретичні викладки, необхідні для вирішення розрахункових завдань;
- 2) надаються вихідні дані до самостійної роботи з вирішення практичних задач;
- 3) наводяться питання для контролю засвоєння теоретичного матеріалу за тематикою.

Номер варіанта визначається за номером студента у списку.

## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4.1 – ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ТА ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ПРОЦЕСУ МОКРОЇ ОЧИСТКИ ГАЗІВ**

### **Фізичні основи мокрої очистки газів: осадження пилу на краплях рідини**

#### ***Завдання 1 – Визначення кількості часток пилу, вловлених за певний проміжок часу***

Кількість часток, що вловлюється за одиницю часу при розпилюванні обсягу води, визначають за формулою (од/с):

$$N_t = \eta_z \frac{\pi d_k^2}{4} \omega_o z \tau ,$$

де  $\eta_z$  – коефіцієнт захвату;

$d_k$  – діаметр краплі води, м;

$\omega_o$  – відносна швидкість рідини й газу, м/с;

$z$  – запиленість газу, од/м<sup>3</sup>;

$\tau$  – час, с.

Відносна швидкість рідини і газу визначається залежно від того, як рухаються краплі води й пилу відносно одна одної.

У разі однонаправленого руху (газ і краплі рухаються в одному напрямку)  $\omega_o = \omega_n - \omega_g$ .

У разі різнонаправленого руху (газ і краплі рухаються назустріч одне одному)  $\omega_o = \omega_n + \omega_g$ .

Для розрахунку кількості вловлених часток за період часу необхідно знайти добуток з кількості часток, вловлених за одиницю часу на загальний час пиловловлювання.

Вихідні дані до розрахунку

№ варіанта	Напрямок руху	$\eta_z$	$d_k$ , мм	$\omega_{II}$ , м/с	$\omega_B$ , м/с	$z$ , од/м <sup>3</sup>	$\tau$ , с
1	різнонаправлений рух	0,92	0,1	25,0	5,0	1,5E+07	45
2		0,75	0,1	25,0	5,0	1,0E+08	15
3		0,95	1,0	12,0	3,5	1,8E+06	10
4		0,85	1,0	15,0	6,2	2,0E+05	
5		0,80	1,0	10,5	5,8	3,5E+05	10
6		0,65	1,0	12,8	4,0	4,6E+06	20
7		0,75	0,1	14,0	4,8	2,1E+07	30
8		0,68	0,2	16,0	3,5	3,2E+06	40
9		0,58	0,5	12,5	2,6	1,2E+06	60
10		0,75	1,0	18,0	5,5	8,5E+04	80
11		0,60	1,0	25,0	3,5	7,7E+05	45
12		0,65	1,5	22,0	4,2	5,6E+03	80
13		0,78	1,5	18,0	1,9	5,5E+04	30
14		0,92	0,8	9,8	5,5	2,1E+04	300
15		0,75	0,9	13,0	6,8	9,5E+05	10
16	однонаправлений рух	0,68	0,2	16,0	3,5	3,2E+06	40
17		0,58	0,5	12,5	2,6	1,2E+06	60
18		0,75	1,0	18,0	5,5	8,5E+04	80
19		0,60	1,0	25,0	3,5	7,7E+05	45
20		0,65	1,5	22,0	4,2	5,6E+03	80
21		0,78	1,5	18,0	1,9	5,5E+04	30
22		0,92	0,8	9,8	5,5	2,1E+04	300
23		0,75	0,9	13,0	6,8	9,5E+05	10
24		0,92	0,1	25,0	5,0	1,5E+07	45
25		0,75	0,1	25,0	5,0	1,0E+08	15
26		0,95	1,0	12,0	3,5	1,8E+06	10
27		0,85	1,0	15,0	6,2	2,0E+05	25
28		0,80	1,0	10,5	5,8	3,5E+05	10
29		0,65	1,0	12,8	4,0	4,6E+06	20
30		0,75	0,1	14,0	4,8	2,1E+07	30

## Завдання 2 – Визначення масової і об'ємної концентрації пилу

Масова концентрація  $C_m$  (кг/м<sup>3</sup>) визначається як добуток маси однієї частки пилу  $m_1$  й запиленості газу  $z$ .

Масу однієї частки знаходять за формулою (кг):

$$m_1 = \frac{\pi d_q^3}{6} \rho_q ,$$

де  $d_q$  – діаметр частки пилу, м;

$\rho_q$  – щільність пилу, кг/м<sup>3</sup>.

Об'ємну концентрація  $C_v$  (м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>) визначають як добуток об'єму однієї частки  $V_1$  на запиленість газу  $z$ .

Об'єм однієї частки знаходять за формулою (м<sup>3</sup>)

$$V_1 = \frac{\pi d_q^3}{6} .$$

### Вихідні дані до розрахунку

№ варіанта	$z$ , од/м <sup>3</sup>	$d_q$ , мм	$\rho_q$ , кг/м <sup>3</sup>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	1,5E+09	0,2	1,25
2	1,0E+08	0,4	1,45
3	1,8E+08	0,6	2,55
4	2,0E+06	0,8	4,85
5	3,5E+07	1,0	5,54
6	4,6E+08	0,3	1,45
7	2,1E+08	0,5	2,35
8	3,2E+06	0,7	4,58
9	1,2E+07	0,9	3,45
10	8,5E+07	0,4	2,25
11	7,7E+07	0,6	5,24
12	5,6E+06	0,8	1,25
13	5,5E+07	1,0	1,75
14	2,1E+10	0,1	2,24
15	9,5E+08	0,2	2,45

Продовження табл.

1	2	3	4
16	3,2E+08	0,3	2,85
17	1,2E+07	0,4	3,55
18	8,5E+06	0,5	2,75
19	7,7E+07	0,9	2,95
20	5,6E+06	1,0	3,58
21	5,5E+07	0,8	5,85
22	2,1E+06	0,7	4,65
23	9,5E+05	1,2	1,25
24	1,5E+07	1,1	3,55
25	1,0E+08	0,3	4,65
26	1,8E+07	0,5	5,78
27	2,0E+07	0,7	2,13
28	3,5E+05	0,9	2,01
29	4,6E+07	0,4	3,05
30	2,1E+07	1,0	4,82

**Завдання 3 – Визначення кількості крапель, що утворюються при розпиленні об'єму води та поверхні міжфазного контакту між водою та газом**

Визначення кількості крапель, що утворюються при розпиленні певного обсягу воду, проводять за формулою (од/с)

$$n_k = \frac{6Q_v}{\pi d_k^3},$$

де  $Q_v$  – витрата зрошуючої води, м<sup>3</sup>/с;

$d_k$  – діаметр краплі води, м.

Поверхню міжфазного контакту  $F$  (м<sup>2</sup>) встановлюють як добуток площі поверхні однієї краплі води  $S$  на кількість крапель  $n_k$ .

Площу краплі визначають за формулою (м<sup>2</sup>)

$$S = \pi d_k^2.$$



Вихідні дані до розрахунку

№ варіанта	$Q_v$ , л/с	$d_k$ , мм	№ варіанта	$Q_v$ , л/с	$d_k$ , мм
1	1,0	0,6	16	1,6	1,5
2	1,1	0,5	17	1,8	1,7
3	1,5	0,4	18	2,1	0,4
4	1,6	1,5	19	0,1	0,8
5	2,0	0,8	20	0,5	1,2
6	2,2	1,1	21	0,8	0,6
7	2,5	1,2	22	0,9	0,9
8	0,5	1,0	23	1,2	1,2
9	0,8	1,6	24	1,5	1,5
10	0,4	1,2	25	0,4	0,6
11	0,9	1,2	26	0,3	0,9
12	1,0	1,6	27	1,1	1,3
13	1,1	0,8	28	2,5	2,0
14	1,3	1,1	29	0,9	1,2
15	1,5	1,3	30	1,3	1,5

***Контрольні питання:***

1. Для чого використовують апарати мокрої очистки газів?
2. Перелічіть основні переваги апаратів мокрої очистки газів.
3. Перелічіть основні недоліки апаратів мокрої очистки газів.
4. Дайте визначення гідрофільних і гідрофобних часток.
5. Перелічіть основні способи осадження часток пилу на плівці рідини (за способом направлення потоку часток пилу).
6. Опишіть процес уловлювання часток на плівці рідини.
7. Опишіть процес уловлювання часток краплинами рідини.
8. Опишіть процес уловлювання часток в режимі барботажу.

## Енергетичний метод розрахунку мокрих пиловловлювачів

### Завдання 4 – Визначення запиленості очищеного газу за допомогою енергетичного методу

Запиленість очищеного газу встановлюють за формулою (г/м<sup>3</sup>):

$$z_2 = z_1 (1 - \eta),$$

де  $z_1$  – початкова запиленість газу, г/м<sup>3</sup>;

$\eta$  – ступінь очищення, долі од.

Ступінь очищення газу згідно з енергетичним методом розрахунку мокрих пиловловлювачів визначають за формулою (долі од.):

$$\eta = 1 - \exp(-B \cdot K_q^x),$$

де  $B$  та  $X$  – константи, що залежать від фізико-хімічних властивостей пилу та дисперсного складу і визначаються експериментально.  $B$  і  $X$  для окремих видів пилу наведені у табл. 1.;

$K_q$  – сумарна енергія контакту, Па.

Таблиця 1 – Значення показників  $B$  та  $X$

Вид пилу	$B$	$X$
Пил вагранок	$1,355 \times 10^{-2}$	0,6210
Пил доменної печі	$6,61 \times 10^{-2}$	0,891
Пил вапневої печі	$6,5 \times 10^{-4}$	1,0529
Пил мартенівських печей, що працюють на кисневому дутті	$1,565 \times 10^{-6}$	1,619
Пил мартенівських печей, що працюють на повітряному дутті	$1,74 \times 10^{-6}$	1,594
Зола димових газів ТЕС	$4,34 \times 10^{-3}$	0,3

Сумарну енергію контакту визначають за формулою (Па)

$$K_q = \Delta P_{an} + P_e (Q_e / Q_z),$$

де  $\Delta P_{an}$  – гідравлічний опір апарату очистки, Па;

$Q_e, Q_z$  – об'ємні витрати води і газу, м<sup>3</sup>/с;

$P_e$  – тиск рідини, що розпилюється, Па.

Вихідні дані до розрахунку

№ варіанта	$z_1$ , г/м <sup>3</sup>	$\Delta P_{ap}$ , кПа	$Q_v/Q_r$	$P_v$ , кПа	Тип пилу
1	2	3	4	5	6
1	30,00	6,50	0,005	400	Пил вагранок
2	50,00	0,40	0,002	500	Пил доменної печі
3	10,50	2,50	0,005	350	Пил вапневої печі
4	8,50	9,00	0,001	200	Пил мартенівських печей, що працюють на кисневому дутті
5	6,50	5,50	0,004	500	Пил мартенівських печей, що працюють на повітр. дутті
6	15,00	9,75	0,003	200	Пил вагранок
7	25,00	1,20	0,001	250	Пил доменної печі
8	5,25	3,75	0,002	175	Пил вапневої печі
9	4,25	7,50	0,001	100	Пил мартенівських печей, що працюють на кисневому дутті
10	3,25	8,25	0,002	250	Пил мартенівських печей, що працюють на повітр. дутті
11	37,50	6,12	0,006	500	Пил вагранок
12	62,50	0,50	0,004	300	Пил доменної печі
13	13,13	3,12	0,006	438	Пил вапневої печі
14	10,62	10,25	0,001	250	Пил мартенівських печей, що працюють на кисневому дутті
15	8,12	6,80	0,005	625	Пил мартенівських печей, що працюють на повітр. дутті
16	10,00	4,33	0,003	260	Пил вагранок
17	8,50	0,26	0,002	330	Пил доменної печі
18	7,50	1,66	0,003	230	Пил вапневої печі
19	5,60	6,20	0,001	130	Пил мартенівських печей, що працюють на кисневому дутті
20	4,30	6,50	0,006	300	Пил мартенівських печей, що працюють на повітр. дутті
21	8,55	4,20	0,005	448	Пил вагранок
22	56,00	1,35	0,002	560	Пил доменної печі
23	11,76	2,83	0,005	392	Пил вапневої печі

Продовження табл.

1	2	3	4	5	6
24	4,52	6,40	0,001	424	Пил мартенівських печей, що працюють на кисневому дутті
25	7,28	6,50	0,005	560	Пил мартенівських печей, що працюють на повітр. дутті
26	3,75	3,25	0,003	600	Пил вагранок
27	6,25	0,20	0,001	750	Пил доменної печі
28	1,31	1,25	0,003	525	Пил вапневої печі
29	1,06	4,50	0,001	300	Пил мартенівських печей, що працюють на кисневому дутті
30	1,01	5,00	0,002	750	Пил мартенівських печей, що працюють на повітр. дутті

**Контрольні питання:**

1. Поясніть сутність енергетичного методу розрахунку мокрих пиловловлювачів.
2. Наведіть і розкрийте формулу визначення ступеня очистки апарату за допомогою енергетичного методу.
3. Наведіть і розкрийте формулу розрахунку енергетичного параметра

## Тепло - і масообмін у мокрих пиловловлювачах

### Завдання 5 – Визначення температури очищеного газу

Температуру очищеного газу визначають виходячи з рівняння теплового балансу, згідно з яким кількість тепла на вході до апарату очистки  $q_1$  дорівнює кількості тепла на виході з апарату  $q_2$ .

Тепло поступає до апарату із запиленим сухим газом ( $q_{c21}$ ), водою ( $q_{61}$ ) та водними парами ( $q_{n1}$ ) і виноситься відповідно з очищеним сухим газом ( $q_{c22}$ ), водою ( $q_{62}$ ) і водяними парами ( $q_{n2}$ ).

Таким чином, кількість тепла, що поступає до апарату очистки, визначається за формулою (кДж/с):

$$q_1 = q_{c21} + q_{61} + q_{n1}.$$

Кількість тепла, що вноситься сухим газом у скруббер (кДж/с):

$$q_{c21} = C_{p2} G_2 t_{21},$$

де  $C_{p2}$  – теплоємність димового газу (близького за хімічним складом до повітря), кДж/кг град;  $C_{pg} = 1$ ;

$G_2$  – масова витрата димового газу (сухого) на вході в систему очистки, кг/с;

$t_{21}$  – температура газу на вході в апарат очистки,  $^{\circ}\text{C}$ .

Кількість тепла, що вноситься зрошуючою водою в апарат (кДж/с):

$$q_{61} = C_6 G_{61} t_{61},$$

де  $C_6$  – теплоємність води, що подається на зрошення, кДж/кг град,  $C_6 = 4,19$  кДж/кг град;

$G_{61}$  – витрата води, що подається на зрошення, кг/с. Приймаємо  $G_{61} = G_2$ .

Кількість тепла, що вноситься в апарат очистки з водяною парою, яка міститься у газі (кДж/с):

$$q_{n1} = i_{n1} G_{n1} = i_{n1} G_{21} d_1$$

де  $i_{n1}$  – ентальпія водяної пари, що міститься на вході до апарату очистки, кДж/кг;

$G_{n1}$  – витрата пару на вході в апарат очистки, кг/с;

$d_1$  – вологість газу на вході, кг/кг.

$$i_{n1} = 2501 + 1,93 t_{c1},$$

Подальший розрахунок ведеться методом послідовного наближення. Задаємо значення температури газу на виході зі скрубера  $t_{c2}$ , вважаючи, що парогазорідинна суміш на виході з апарату очистки знаходиться у стані термодинамічної рівноваги.

Будемо вважати, що  $t_{c2} = t_{b2} = t_{n2}$  Парціальний тиск водяної пари  $P_{парц}$  залежно від температури визначають згідно з табл.2.

Таблиця 2 – Залежність парціального тиску водяної пари від температури повітря

$t_{c2},$ °C	$P_{парц},$ кПа	$t_{c2},$ °C	$P_{парц},$ кПа	$t_{c2},$ °C	$P_{парц},$ кПа	$t_{c2},$ °C	$P_{парц},$ кПа
39	701	44	9,3	49	12,0	54	15,3
40	7,5	45	9,8	50	12,6	55	16,1
41	7,9	46	10,3	51	13,2	56	16,8
42	8,4	47	10,8	52	13,9	57	17,7
43	8,8	48	11,4	53	14,6	58	18,5

Вологість газів (концентрація водяної пари, віднесена до одиниці маси сухого газу) на виході з апарату знаходять за формулою (кг/кг)

$$d_2 = \frac{0,804 \cdot P_{парц}}{(P - P_{парц}) \rho_{гн}},$$

де  $P$  – атмосферний тиск газу, Па

$\rho_{гн}$  – густина газу при нормальних умовах,  $\text{кг/м}^3$ ; Визначається за допомогою формули Клапейрона-Менделєєва.

Витрата води на виході з апарату очистки визначають з рівняння матеріального балансу (кг/с):

$$G_{b2} = G_{b1} + G_{c1} d_1 - G_{c1} d_2$$

Визначаємо кількість тепла, що виноситься зі скрубера з сухим газом (кДж/с):

$$q_{c2} = C_{p2} G_{c1} t_{c2},$$

де  $t_{c2}$  – температура газу на виході зі скрубера Вентурі, °C.

Кількість тепла, що виноситься зі скрубера з витікаючою водою (кДж/с):

$$q_{62} = C_6 G_{62} t_{62},$$

де  $t_{62}$  – температура води, що виходить з апарату очистки,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$G_{62}$  – витрата води, що виходить з апарату очистки, кг/с.

Кількість тепла, що виноситься зі скрубера з водяною парою, яка міститься у газі (кДж/с):

$$q_{n2} = i_{n2} G_n = i_{n1} G_{z1} d_2,$$

де  $i_{n2}$  – ентальпія водяної пари, що міститься на виході з апарату очистки, кДж/кг.

$$i_{n2} = 2501 + 1,93 t_{z2}$$

Кількість тепла, що виноситься з апарату очистки, знаходять за формулою (кДж/с):

$$q_2 = q_{c2} + q_{62} + q_{n2}.$$

При правильно заданій температурі  $t_{z2}$  значення  $q_1$  та  $q_2$  відрізняються не більше, ніж на 5%. Для визначення цієї різниці розраховують розмір відносного відхилення :

$$\delta = \frac{|q_1 - q_2|}{q_1} 100\% \leq 5\%$$

У тому випадку, коли  $\delta > 5\%$ , необхідно задати нове значення  $t_{z2}$ :

- якщо  $q_1 > q_2$ , задаємо нове значення  $t_{z2}^I > t_{z2}$  і повторюємо розрахунок;
- якщо  $q_1 < q_2$ , задаємо нове значення  $t_{z2}^I < t_{z2}$  і повторюємо розрахунок.

#### Вихідні дані до розрахунку

№ варіанта	$t_{z1}, ^{\circ}\text{C}$	$G_{z1}, \text{кг/с}$	$d_1 \times 10^3, \text{кг/кг}$	$G_{61}, \text{кг/с}$	$t_{61}, ^{\circ}\text{C}$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1	170	35	40	29	20
2	250	20	30	14	25
3	300	30	20	20	20
4	180	29	10	24	20
5	150	26	35	20	22

Продовження табл.

1	2	3	4	5	6
6	200	20	25	15	20
7	250	12	15	10	24
8	300	20	23	20	24
9	140	18	28	15	25
10	120	14	26	15	28
11	245	35	40	28	22
12	180	20	30	22	13
13	200	20	20	22	14
14	140	24	10	25	23
15	120	26	34	20	18
16	190	20	26	20	16
17	170	12	15	12	22
18	340	21	23	20	14
19	185	18	28	15	26
20	160	18	26	16	28
21	170	26	34	19	22
22	210	20	25	15	25
23	280	14	26	10	24
24	290	20	20	22	24
25	160	18	29	15	25
26	160	14	40	15	28
27	245	35	26	35	22
28	275	20	25	18	20
29	240	22	10	22	14
30	120	24	35	25	23

**Контрольні питання:**

1. Опишіть процес випаровувального охолодження газу.
2. Опишіть процес конденсаційного охолодження газу.
3. Опишіть процес тепло- й масообміну краплини рідини, що знаходиться у гарячому газі.
4. Дайте словесне й формульне визначення рівняння теплового балансу.
5. Дайте словесне й формульне визначення рівняння масового балансу.



## ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4.2 – БУДОВА, ПРИНЦИП ДІЇ ТА ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ АПАРАТІВ МОКРОЇ ОЧИСТКИ ГАЗІВ

### Форсуночні скрубери

#### Завдання 6 – Визначення ступеня очистки газу у форсуночних скруберах

Ступінь очистки газів у форсуночних скруберах визначають за формулою

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{3}{2} \eta_3 \frac{\omega_0 H}{\omega_k d_k} \cdot \frac{Q_{жс}}{Q_2}\right)$$

де  $\eta_3$  – коефіцієнт запасу, частки од.;

$\omega_0$  – відносна швидкість рідини й газу, м/с;

$H$  – активна висота скрубера, м;

$\omega_k$  – швидкість краплі води, м/с;

$d_k$  – діаметр краплі води, м;

$Q_{жс}/Q_2$  – питома витрата води, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Коефіцієнт запасу визначають залежно від питомої витрати води:

а) коли  $Q_{жс}/Q_2$  строго дорівнює 2 л/м<sup>3</sup>:

$$\eta_3 = 1 - 0,15 Stk^{-1.24},$$

де  $Stk$  – критерій Стокса.

б) коли  $Q_{жс}/Q_2$  не дорівнює 2 л/м<sup>3</sup>:

$$\eta_3 = \frac{Stk^2}{(Stk + 0.35)^2}$$

Критерій Стокса знаходять за формулою

$$Stk = \frac{d_c^2 \omega_0 \rho_c}{18 \mu d_k},$$

де  $d_c$  – діаметр часток пилу, м;

$\rho_c$  – щільність пилу, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  – динамічна в'язкість, Нс/м<sup>2</sup>;

Вихідні дані до розрахунку

№ варіа- нту	d <sub>ч</sub> , мкм	ρ <sub>ч</sub> , кг/м <sup>3</sup>	ρ <sub>г</sub> , кг/м <sup>3</sup>	ω <sub>г</sub> , м/с	μ <sub>г</sub> , Нс/м <sup>2</sup>	ω <sub>к</sub> , м/с	d <sub>к</sub> , мм	H, м	Q <sub>ж</sub> / Q <sub>г</sub> , л/м <sup>3</sup>
1	10	1200	1,29	3,5	2,2E-05	5,5	1,0	1,5	2,5
2	15	1200	1,45	4,2	2,2E-05	6,2	1,2	2,0	3,0
3	20	1200	1,29	2,5	2,2E-05	4,8	1,5	3,0	3,5
4	25	1200	1,45	1,9	2,2E-05	3,5	2,0	3,5	4,0
5	30	1200	2,15	4,0	2,5E-05	4,2	2,5	4,0	4,5
6	21	2400	3,25	3,5	2,5E-05	5,1	0,8	1,5	5,0
7	16	2400	0,85	2,8	2,5E-05	6,2	1,0	2,0	2,5
8	13	2400	1,65	3,7	2,5E-05	5,4	1,2	2,5	3,0
9	21	2400	2,25	2,8	2,8E-05	3,5	1,0	1,5	3,5
10	17	2400	3,14	3,5	2,8E-05	4,1	1,5	2,5	4,0
11	15	3200	2,87	4,5	2,8E-05	3,9	1,2	1,8	4,5
12	12	3200	4,12	3,0	2,8E-05	4,2	1,1	2,0	5,0
13	14	3200	1,02	2,6	2,8E-05	2,9	1,3	1,5	2,5
14	11	3200	1,22	3,2	1,9E-05	4,3	1,5	2,5	3,0
15	13	3200	3,16	2,7	1,7E-05	3,8	1,2	1,8	3,5
16	9	4500	1,29	3,5	2,2E-05	5,5	1,0	1,5	4,0
17	11	4500	1,45	4,2	2,2E-05	6,2	1,2	2,0	4,5
18	8	4500	1,29	2,5	2,2E-05	4,8	1,5	3,0	5,0
19	14	4500	1,45	1,9	2,2E-05	3,5	2,0	3,5	2,5
20	12	4500	2,15	4,0	2,5E-05	4,2	2,5	4,0	3,0
21	17	1500	3,25	3,5	2,5E-05	5,1	1,5	2,8	3,5
22	30	1200	0,85	3,8	2,5E-05	6,2	1,7	2,0	4,0
23	30	1500	1,65	3,7	2,5E-05	5,4	2,0	3,6	4,5
24	20	1500	2,25	2,8	2,8E-05	5	1,5	3,5	3,5
25	10	1500	3,14	3,5	2,8E-05	4,1	1,8	4,0	2,5
26	15	1500	2,87	4,5	2,8E-05	3,9	2,0	3,0	3,0
27	20	1500	4,12	3,0	2,8E-05	4,2	1,1	2,0	3,5
28	17	1500	1,02	2,6	2,8E-05	2,9	1,3	1,5	4,0
29	12	1500	1,22	3,2	1,9E-05	4,3	1,5	2,5	4,5
30	16	1500	3,16	3,7	1,7E-05	4,5	1,5	3,0	5,0

### **Контрольні питання:**

1. Призначення форсуночних скрубєрів
2. Будова й принцип дії форсуночних скрубєрів.
3. Наведіть основні технічні характеристики форсуночних скрубєрів.
4. Наведіть і розкрийте формулу визначення ступеня очистки у форсуночному скрубєрі.

### **Скрубєри Вентурі**

#### **Завдання 7 – Визначення діаметру крапель у скрубєрі Вентурі**

Визначення розміру крапель, що утворюються у скрубєрі Вентурі в процесі подрібнення крапель води газовим потоком, можливе двома методами:

1. За формулою Нукіяма – Таназава (м):

$$d_{\kappa} = \frac{0,585 \sqrt{\delta}}{\omega_0 \sqrt{\rho_{\text{ж}}}} + 440 \left( \frac{\mu_{\text{ж}}}{\sqrt{\rho_{\text{ж}} \sigma}} \right)^{0,45} \left( \frac{Q_{\text{ж}}}{Q_{\text{г}}} \right)^{1,5},$$

де  $\sigma$  – коефіцієнт поверхневого натягіння, Н/м,

$\mu_{\text{ж}}$  – динамічна в'язкість, Нс/м<sup>2</sup>;

$\omega_0$  – відносна швидкість рідини й газу, м/с;

$Q_{\text{ж}}/Q_{\text{г}}$  – питома витрата води, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Фізичні властивості води ( $\sigma$ ,  $\mu_{\text{ж}}$ ,  $\rho_{\text{ж}}$ ) залежать від температури й наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Фізичні властивості води

t, °C	$\rho_{\text{ж}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\mu_{\text{ж}} \cdot 10^3$ , Нс/м <sup>2</sup>	$\sigma \cdot 10^3$ , Н/м
10	999,73	1,307	74,22
15	999,13	1,138	73,49
20	998,23	1,002	72,75
25	997,07	0,894	71,97
30	995,67	0,800	71,18
35	994,06	0,719	70,48
40	992,24	0,653	69,73
50	988,07	0,547	67,99

2. За допомогою критерію Вебера

Крапля починає дробитися, якщо значення критерію Вебера ( $We$ ) знаходиться у діапазоні від 5 до 12.

Діаметр краплі знаходять за формулою, отриманою з формули критерію Вебера (м):

$$d_{\kappa} = \frac{We \cdot \delta}{\rho_z \cdot \omega_0^2}.$$

Отримані за допомогою обох формул діаметри можуть відрізнятися тому, що обидві формули є експериментальними.

Вихідні дані до розрахунку

№ варіанта	$\omega_{\kappa}$ , м/с	$\omega_{\Gamma}$ , м/с	$t_{\text{ж}}$ , °C	$Q_{\text{ж}}/Q_{\Gamma}$ , л/м <sup>3</sup>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	0,5	170	10	0,2
2	4	165	15	0,2
3	3	155	20	0,2
4	3	160	25	1,0
5	2	150	30	1,4
6	2	140	35	1,1
7	1	170	40	0,5
8	1	160	50	0,2
9	2	150	20	0,2
10	2	140	25	0,3
11	1	170	30	0,4
12	1	160	35	0,5
13	2	170	40	0,6
14	4	165	50	0,2
15	3	155	10	0,2
16	3	160	15	1,0
17	1	160	20	0,2
18	1	150	25	0,3
19	2	140	30	0,4

Продовження табл.

1	2	3	4	5
20	2	170	35	0,5
21	1	160	40	0,6
22	1	170	50	0,2
23	2	165	10	0,2
24	0,5	170	30	0,3
25	0,7	165	35	1,5
26	1,2	155	40	1
27	0,1	170	50	0,2
28	0,6	150	15	1,2
29	0,1	140	20	1,5
30	1	170	25	0,3

### **Завдання 8 – Визначення гідравлічного опору труби Вентурі**

Гідравлічний опір труби Вентурі виникає як наслідок руху газу й зрошуючої рідини.

Розрахунок гідравлічний опір труби Вентурі визначають за формулою (Па):

$$\Delta P_{TB} = \Delta P_z + \Delta P_{\phi},$$

де  $\Delta P_z$  – частка гідравлічного опору, що обумовлена рухом газів, Па;

$\Delta P_{\phi}$  – частка гідравлічного опору, обумовлена введенням зрошувальної рідини, Па.

$$\Delta P_z = \xi_z \cdot \rho_{z2} \cdot \frac{\omega_z^2}{2},$$

де  $\xi_z$  – коефіцієнт гідравлічного опору сухої труби Вентурі.

Частка гідравлічного опору, що обумовлена введенням зрошувальної рідини, дорівнює:

$$\xi_z = 0,165 + 0,034 \frac{l_z}{d_z} (0,06 + 0,28 \frac{l_z}{d_z}) M,$$

де  $\frac{l_z}{d_z}$  – відношення довжини до діаметра горловини труби Вентурі, задається в

межах від 1,5 до 3;

$M$  – число Маха

$$M = \frac{\omega_z}{\omega_{38}} ,$$

де  $\omega_{38}$  – швидкість звука в газі, м/с

$$\omega_{38} = \sqrt{2 \frac{K}{K+1}} \sqrt{\frac{RT}{M}} ,$$

де  $K$  – коефіцієнт адіабати для повітря (Па),  $K = 1,4$ .

Частка гідравлічного опору, обумовлена введенням зрошувальної рідини (Па):

$$\Delta P_{\text{в}} = \xi_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot m \cdot \frac{\omega_z^2}{2} ,$$

де  $m$  – питома витрата зрошувальної рідини

$$m = \frac{Q_{\text{в}1}}{Q_{\text{з}1}} ,$$

$\xi_{\text{в}}$  – коефіцієнт гідравлічного опору, обумовленого введенням зрошувальної рідини

$$\xi_{\text{в}} = 0,63 \xi_z m^{-0,3} ,$$

$\rho_{\text{в}}$  – густина зрошувальної рідини, кг/м<sup>3</sup>.

#### Вихідні дані до розрахунку

№ варіанта	$l_r / d_r$	$t_{r2}, ^\circ\text{C}$	$\rho_{r2}, \text{кг/м}^3$	$m, \text{л/м}^3$	$W_r, \text{м/с}$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1	3	50	0,9	1,0	150
2	2,5	50	0,9	1,0	140
3	2	45	1,1	2,0	130
4	1,5	50	0,85	3,0	120
5	1	55	0,8	4,0	110
6	0,5	60	0,8	5,0	100
7	0,15	40	1,12	1,5	90

Продовження табл.

1	2	3	4	5	6
8	2,2	42	1,12	2,5	80
9	2	44	1,05	3,5	70
10	1,8	46	1,12	4,0	150
11	3	48	0,92	5,5	60
12	2,5	50	0,95	1,5	80
13	2	50	0,9	0,7	100
14	1,5	40	1,12	1,5	90
15	2,8	45	1,1	1,2	120
16	2,6	50	0,9	1,4	130
17	2,4	55	1	1,6	140
18	2,2	60	0,85	1,8	150
19	2	40	1,12	2,1	150
20	1,8	42	1,15	2,3	140
21	2,6	60	0,85	2,4	130
22	2,4	40	1,12	2,5	120
23	2,2	42	1,15	2,9	110
24	2	44	1,08	3,2	100
25	1,8	46	1,08	3,5	90
26	3	48	0,95	3,8	80
27	2,5	50	0,9	4,1	70
28	2	50	0,9	3,5	150
29	1,5	40	1,12	4,8	60
30	2,8	45	1,1	5,2	80

**Контрольні питання:**

1. Призначення, будова й принцип дії скрубєрів Вентурі.
2. Наведіть і опишіть графік зміни швидкості газу, швидкості краплини та тиску за довжиною труби Вентурі.
3. Наведіть головні технічні характеристики скрубєрів Вентурі.
4. Наведіть класифікації скрубєрів Вентурі: а) за конфігурацією поперекового перетину; б) за площею поперечного перерізу; в) за розміром гідравлічного тиску ; г) за способом подачі рідини.

## Апарати відцентрової дії

### Завдання 9 – Визначення витрати води на зрошення відцентрового скрубера й ступеня очистки

Витрату води на зрошення відцентрового скрубера визначають за формулою (кг/с):

$$M_g = 0,14 \cdot \pi \cdot d_{\text{скр}},$$

де  $d_{\text{скр}}$  – діаметр відцентрового скрубера.

Ступінь очистки у відцентровому скрубери знаходять за формулою

$$\eta = 100 - (100 - \eta_1) (d_{\text{скр}})^{1/2},$$

де  $\eta_1$  – ступінь очистки у відцентровому скрубери діаметром 1 м;

$d_{\text{скр}}$  – діаметр скрубера, для якого визначається ступінь очистки.

#### Вихідні дані до розрахунку

№ варіанта	$d_{\text{скр}}, \text{м}$	$\eta_1, \%$	№ варіанта	$d_{\text{скр}}, \text{м}$	$\eta_1, \%$
1	2,0	90	16	2,0	90
2	0,8	75	17	0,8	92
3	1,0	78	18	1,0	94
4	1,2	80	19	1,2	96
5	1,0	82	20	1,0	98
6	4,0	84	21	4,0	74
7	1,6	86	22	1,6	78
8	1,8	88	23	1,8	90
9	2,1	90	24	2,1	75
10	2,2	92	25	2,2	78
11	2,4	94	26	2,4	80
12	2,6	96	27	2,6	82
13	2,8	98	28	2,8	84
14	3,0	83	29	3,0	86
15	3,2	78	30	3,2	88

#### **Контрольні питання:**

1. Призначення апаратів відцентрової дії.
2. Будова й принцип дії апаратів відцентрової дії.
3. Основні технічні характеристики апаратів відцентрової дії
4. Наедіть та розкрийте формулу визначення ступеня очистки в апаратах відцентрової дії.



## Апарати ударно-інерційної дії

### Завдання 10 – Визначення гідравлічного опору і ступеня очистки газів

Гідравлічний опір апаратів ударно-інерційної дії визначається за формулою (Па):

$$\Delta P = 10^4 \delta + 880 \sqrt{Q_z},$$

де  $\delta$  – висота верхнього рівня води від нижньої кромки верхньої перегородки, м;

$Q_z$  – витрата газу на один метр довжини перегородки, м<sup>3</sup> / с.

Ступінь очистки визначають за формулою

$$\eta = \frac{1}{2} (\Phi(x) + 1),$$

де  $\Phi(x)$  – функція від  $X$ .  $\Phi(x)$ , знаходять за допомогою табл. 4.

Таблиця 4 – Значення нормальної функції розподілу

$x$	$\Phi(x)$	$x$	$\Phi(x)$	$x$	$\Phi(x)$	$x$	$\Phi(x)$
—0,20	0,4207	0,04	0,5160	0,30	0,6179	0,56	0,7123
—0,18	0,4286	0,06	0,5239	0,32	0,6255	0,58	0,7190
—0,16	0,4364	0,08	0,5319	0,34	0,6331	0,60	0,7257
—0,14	0,4443	0,10	0,5398	0,36	0,6406	0,62	0,7324
—0,12	0,4522	0,12	0,5478	0,38	0,6480	0,64	0,7389
—0,10	0,4602	0,14	0,5557	0,40	0,6554	0,66	0,7454
—0,08	0,4681	0,16	0,5636	0,42	0,6628	0,68	0,7517
—0,06	0,4761	0,18	0,5714	0,44	0,6700	0,70	0,7580
—0,04	0,4840	0,20	0,5793	0,46	0,6772	0,72	0,7642
—0,02	0,4920	0,22	0,5871	0,48	0,6844	0,74	0,7703
—0,00	0,5000	0,24	0,5948	0,50	0,6915	0,76	0,7764
0,00	0,5000	0,26	0,6026	0,52	0,6985	0,78	0,7823
0,02	0,5080	0,28	0,6103	0,54	0,7054	0,80	0,7881

Параметр  $X$  визначають за формулою

$$X = \frac{\lg(\frac{d_m}{d_{50}})}{\sqrt{\lg^2 \delta_\eta + \lg^2 \delta_\epsilon}},$$

де  $d_m$  – медіанний розмір часток, мкм;

$d_{50}$  – діаметр часток, що осаджується з ефективністю 50%;

$lg \sigma_\eta$  – стандартне відхилення від функції розподілу парціальних коефіцієнтів очистки;

$lg \sigma_\chi$  – середньоквадратичне відхилення у функції розподілу часток.

Дисперсний склад пилу задається двома параметрами:  $d_m$  і  $lg \sigma_\chi$ .

Характеристика роботи апарату ударно-інерційної дії задається двома параметрами:  $d_{50}$  і  $lg \sigma_\eta$  (див. табл. 5).

Таблиця 5

$\delta, \text{м}$	$d_{50}, \text{мкм}$	$lg \sigma_\eta$
0,04	1,5	0,3
0,08	1,5	0,24
0,20	1,5	0,17

Вихідні дані до розрахунку

№ варіанта	$\delta, \text{мм}$	$Q_\Gamma, (\text{м}^3 / \text{год})/\text{м}$	$d_m, \text{мкм}$	$lg \sigma_\chi$
1	2	3	4	5
1	40	2000	8,00	4,70
2	80	2100	9,60	2,06
3	200	2200	0,65	2,60
4	40	2300	1,50	2,30
5	80	2400	14,50	4,80
6	200	7500	3,00	3,00
7	200	2500	30,00	1,76
8	40	2600	45,00	3,91
9	80	2700	20,00	3,40
10	200	2800	15,50	5,50
11	40	2900	12,00	3,42
12	80	3000	6,90	2,60
13	200	3100	25,00	2,00
14	40	3200	2,90	2,07
15	80	3300	5,00	3,20
16	200	3400	13,00	2,55

Продовження табл.

1	2	3	4	5
17	40	3500	11,50	2,67
18	80	3600	17,00	3,55
19	200	3700	22,00	2,35
20	40	3800	19,00	3,30
21	80	3900	25,00	2,19
22	200	4000	15,00	4,00
23	40	4100	20,00	3,20
24	80	4200	23,00	2,56
25	200	4300	24,00	2,02
26	40	4400	19,00	2,93
27	80	4500	15,50	2,83
28	200	4600	15,00	2,20
29	40	4700	9,00	3,90
30	80	4800	3,00	3,10

### **Контрольні питання:**

1. Призначення та особливості апаратів ударно-інерційної дії.
2. Принцип дії апаратів ударно-інерційної дії.
3. Основні технічні характеристики апаратів ударно-інерційної дії.
4. Принципова схема апарату ударно-інерційної дії типу ПВМ.
5. Принципова схема ротоклону.

### **Барботажні пінні апарати**

#### **Завдання 11 – Визначення відносної величини живого перетину решітки**

Відносні величина живого перерізу решітки визначають як відношення загальної площі отворів у решітці до загальної площі перерізу апарату ( $\text{м}^2 / \text{м}^2$ ):

$$f_o = \frac{S_{омв}}{S_a} = \frac{d_{омв}^2}{d_a^2} n ,$$

де  $d_{омв}$  – діаметр отворів решітки, м;

$d_a$  – діаметр апарату, м;

$n$  – кількість отворів у решітці, од.

Вихідні дані до розрахунку

№ варіанта	d <sub>отв</sub> , мм	d <sub>а</sub> , м	n, од	№ варіанта	d <sub>отв</sub> , мм	d <sub>а</sub> , м	n, од
1	4,0	1,8	50000	16	4,0	1,8	44600
2	3,5	1,6	38500	17	4,0	2	39800
3	2,8	1,2	28000	18	6,0	2,2	45600
4	4,5	2,2	40000	19	5,5	2,4	43800
5	6,0	2,6	32000	20	4,8	2,6	54600
6	5,5	1,8	35000	21	5,0	2,6	58600
7	4,5	2	38000	22	3,6	1,8	60500
8	5,5	2,2	41000	23	3,8	2	65800
9	3,5	1,9	43000	24	4,5	2,2	59600
10	6,0	2,6	45000	25	2,5	1,5	75300
11	6,0	1,8	47000	26	5,8	2,6	49900
12	3,8	2	51200	27	3,0	1,8	53600
13	4,0	2,2	62300	28	3,2	2	49500
14	4,2	2,4	61400	29	3,4	2,2	52600
15	4,0	2,6	58400	30	3,5	2	54300

**Завдання 12 – Визначення гідравлічного опору решітки й критичної швидкості газу**

Гідравлічний опір решітки визначають за формулою (Па)

$$\Delta P = A^2 \cdot \rho_z \frac{\omega_z^2}{2 \cdot f_o} + \Delta P_\delta,$$

де  $A$  – допоміжний коефіцієнт;

$\rho_z$  – густина газу, кг/м<sup>3</sup>;

$\omega_z$  – швидкість газу, м/с;

$f_o$  – площа живого перерізу решітки;

$\Delta P_\delta$  – частка гідравлічного опору, обумовлена поверхневим на тяжінням рідини, Па.

$$\Delta P_\delta = \frac{4\delta}{1,3d_o + 0,08d_o^2},$$

де  $\delta$  – коефіцієнт поверхневого натягнення, Н/м;

$d_o$  – діаметр отворів у решітці, мм.

Допоміжний коефіцієнт  $A$  визначають за формулою

$$A = 38,8m^{0,7} \cdot Q_{ж}^{-0,57} \left( \frac{\rho_c}{\rho_{ж}} \right)^{0,35},$$

де  $Q_{ж}$  – щільність зрошення,  $\text{м}^3/\text{м}^2\text{с}$ ;

Швидкість, при якій відбувається перехід від пінного режиму до хвильового, тобто захлинання апарату (критична швидкість) визначають за формулою ( $\text{м/с}$ ):

$$\omega_{кр} = 10^{\log \omega_{кр}}$$

$$\log \omega_{кр} = 1350 \frac{f_0^2 d_0}{A} + 0,154.$$

#### Вихідні дані до розрахунку

№ варіанта	$m$ , $\text{л/м}^3$	$Q_{ж}$ , $\text{м}^3/\text{м}^2\text{с}$	$\rho_r$ , $\text{кг/м}^3$	$\rho_{ж}$ , $\text{кг/м}^3$	$f_0$	$\delta$ , $\text{Н/м}$	$d_0$ , $\text{мм}$	$\omega_r$ , $\text{м/с}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,5	1,20	1,100	1000	0,25	0,081	5,0	2,0
2	0,4	0,96	1,290	999	0,25	0,073	4,0	2,0
3	0,5	1,20	1,210	988	0,26	0,071	3,5	1,0
4	0,6	1,44	1,190	1150	0,21	0,080	2,8	1,2
5	0,4	0,96	1,150	1200	0,17	0,082	4,5	1,4
6	0,5	1,20	1,120	1250	0,17	0,075	6,0	1,6
7	0,6	1,44	1,050	1300	0,33	0,059	5,5	1,8
8	0,4	0,96	1,000	1350	0,19	0,058	4,5	2,0
9	0,5	1,20	0,980	1120	0,26	0,08	5,5	2,2
10	0,6	1,44	0,950	1150	0,15	0,082	3,5	2,0
11	0,4	0,96	1,100	1100	0,24	0,081	6,0	1,0
12	0,5	1,20	1,290	999	0,32	0,073	6,0	1,2
13	0,6	1,44	1,210	988	0,18	0,071	3,8	1,4
14	0,4	0,96	1,190	1150	0,21	0,082	4,0	1,6
15	0,5	1,20	1,150	1200	0,19	0,095	4,2	1,8
16	0,6	1,44	1,120	1250	0,14	0,099	4,0	2,0
17	0,4	0,96	1,050	1300	0,22	0,059	4,0	2,2
18	0,5	1,20	1,000	1350	0,16	0,058	4,0	2,0
19	0,5	1,20	0,980	1120	0,26	0,071	6,0	1,0
20	0,4	0,96	0,950	1150	0,23	0,069	5,5	1,2
21	0,5	1,20	1,150	1250	0,19	0,065	4,8	1,4
22	0,6	1,44	1,120	1300	0,22	0,06	5,0	1,6
23	0,4	0,96	1,050	1350	0,24	0,065	3,6	1,8
24	0,5	1,20	1,000	1120	0,24	0,071	3,8	2,0
25	0,6	1,44	0,980	1150	0,25	0,069	4,5	2,2

Продовження табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
26	0,4	0,96	0,950	1100	0,40	0,072	2,5	2,0
27	0,5	1,20	1,100	999	0,25	0,073	5,8	1,0
28	0,6	1,44	1,290	988	0,31	0,071	3,0	1,2
29	0,4	0,96	1,210	1150	0,35	0,082	3,2	1,4
30	0,5	1,20	1,190	1200	0,29	0,081	3,4	1,6

**Завдання 13 – Визначення ступеня очистки в барботажних пінних апаратах**

Ступінь очистки в барботажних пінних апаратах знаходять за формулою

$$\eta = \eta_0 \left( \frac{\omega_z}{2} \right)^{0,036} \left( \frac{H}{0,09} \right)^{0,032},$$

де  $\eta_0$  – еталонний ступінь очистки для апаратів з висотою шару піни 9 см;

$H$  – висота шару піни, м.

Еталонний ступінь очистки є функцією від  $X$ , тобто  $\eta_0 = \Phi(x)$ . Процес визначення  $\Phi(x)$  детально описано у завданні 10.

Слід пам'ятати, що для барботажних пінних апаратів з висотою шару піни  $d_{50}$  – діаметр часток, що осаджується з ефективністю 50% - дорівнює 0,85 мкм, а  $lg \sigma_\eta$  – стандартне відхилення від функції розподілу парціальних коефіцієнтів очистки – 0,769.

Вихідні дані до розрахунку

№ варіанта	$d_m$ , мкм	$lg \sigma_\eta$	$W_r$ , м/с	$H$ , см
1	2	3	4	5
1	8,00	4,70	1,10	8,0
2	9,60	2,06	1,30	10,0
3	0,65	2,60	0,80	11,0
4	1,50	2,30	2,20	5,0
5	14,50	4,80	1,90	15,0
6	3,00	3,00	2,00	16,0
7	30,00	1,76	2,20	15,0
8	45,00	3,91	2,50	16,0
9	20,00	3,40	2,70	17,0
10	15,50	5,50	1,50	8,0

Продовження табл.

1	2	3	4	5
11	12,00	3,42	1,80	5,0
12	6,90	2,60	1,30	4,0
13	25,00	2,00	1,50	7,0
14	2,90	2,07	1,70	5,0
15	5,00	3,20	1,90	3,0
16	13,00	2,55	2,00	2,0
17	11,50	2,67	2,20	5,0
18	17,00	3,55	2,50	20,0
19	22,00	2,35	2,70	18,0
20	19,00	3,30	2,20	12,0
21	25,00	2,19	2,50	14,0
22	15,00	4,00	1,30	8,0
23	20,00	3,20	1,10	10,0
24	23,00	2,56	1,70	7,0
25	24,00	2,02	1,50	7,0
26	19,00	2,93	2,00	6,0
27	15,50	2,83	2,20	5,0
28	15,00	2,20	2,50	4,0
29	9,00	3,90	2,70	3,0
30	3,00	3,10	1,50	2,0

**Контрольні питання:**

1. Призначення, будова й принцип дії барботажних пінних апаратів.
2. Основні параметри барботажних пінних апаратів.
3. Розрахунок загальної ефективності пиловловлювання у барботажному пінному апараті.

## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4.3 – ДОДАТКОВЕ ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМ ПИЛО - І ГАЗООЧИСТКИ**

До допоміжного обладнання систем пило- і газоочистки відносяться:

- апарати для попередження бризгоуносу та сепарації крапель з газового потоку – каплевловлювачі;
- пристрої для підводу та диспергування рідини – форсунок та зрошувачі.

### ***Контрольні питання:***

1. Перелічіть основні елементи додаткового обладнання систем пило- і газоочистки;
2. Призначення і класифікація каплевловлювачів;
3. Будова й принцип дії гравітаційного каплевловлювача;
4. Будова й принцип дії інерційних каплевловлювачів;
5. Будова й принцип дії відцентрових каплевловлювачів;
6. Види приладів для підведення та диспергування рідини;
7. Класифікація форсунок;
8. Будова й принцип дії механічних форсунок;
9. Будова й принцип дії пневматичних форсунок;
10. Наведіть і поясніть формули для визначення витрати води та швидкості витоку води з форсунок;
11. Наведіть і поясніть формулу для визначення середнього діаметра крапель у форсунках.



### **Рекомендована навчальна література**

1. Экология города/Под ред.Стольберга Ф.В.- К.:Либра,2000.-464с.
2. Справочник по пыле- и золоулавливанию/Под ред.Русанова И.А.-В.,1983
3. Очистка газов в химической промышленности, процессы и аппараты/Балабеков М.Ш.-М.: Химия, 1991.-256с.
4. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справ.изд. в 2-х частях. Пер. с англ./Под ред.Калверта С., Инглунда Т.М.: Металлургия, 1988.-706с.
5. Очистка и рекуперация промышленных выбросов: Уч. пособие для вузов/Под ред.Максимова В.Ф., Вольфа И.В.2-е изд., перераб.-М.: Лесная промышленность, 1981.-640с.

## НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до практичних занять  
і самостійної роботи з дисципліни **«Прикладна аероекологія»**,  
модуль 4 – «Технічні засоби і технології мокрої очистки газів»  
(для студентів 5 курсу заочної (9 семестр) форми навчання напрямів підготовки  
0708 – «Екологія» , 6.040106 – «Екологія, охорона навколишнього середовища  
та збалансоване природокористування»)

Укладачі: **БЕКЕТОВ** Володимир Єгорович  
**ЛОМАКІНА** Ольга Сергіївна

Редактор *М.З. Аляб'єв*

Комп'ютерне верстання *Н. Ю. Гаврилiна*

План 2010, поз. 51 М

---

Підп. до друку 01.07.2010  
Друк на ризографі.  
Зам. №

Формат 60x84/16  
Ум. друк. арк. 1,4  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:  
Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.